

## B E S C H R E I B U N G

### Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils aus einem faserverstärkten Werkstoff

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem faserverstärkten Werkstoff, bei welchem einem Faserhalbzeug mittels Unterdruckbeaufschlagung flüssiges Harz zugeführt wird.

Solche Verfahren sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden auch als Vakuuminjektionsverfahren bezeichnet.

Vakuuminjektionsverfahren sind beispielsweise aus der US 4,902,215, US 5,052,906, US 5,601,852, US 5,439,635 oder WO 94/20278 bekannt.

Aus der DE 100 13 409 C1 ist ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material bekannt, bei dem ein erster Raum mittels einer gasdurchlässigen und Matrix-Material-undurchlässigen Membran gebildet ist und ein zweiter Raum gebildet ist, welcher am ersten Raum anliegt, der von der Umgebung mittels einer gas- und Matrix-Material-undurchlässigen Folie abgegrenzt ist und wobei Luft aus dem zweiten

Raum abgesaugt wird und dadurch Matrix-Material aus einem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum gesaugt wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, mittels dem sich Bauteile hoher Qualität herstellen lassen und sich insbesondere auch großflächige Bauteile herstellen lassen.

Diese Aufgabe wird bei dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß als Harz ein heißhärtendes Harz verwendet wird und daß Unterdruckbeaufschlagung und Temperatur so gesteuert und/oder geregelt werden, daß bezogen auf das flüssige Harz die Siedepunktkurve des Harzes nicht überschritten wird.

Erfindungsgemäß sind damit auch heißhärtende Harze zur Bauteilherstellung mittels eines Vakuuminjektionsverfahrens einsetzbar. Beispielsweise läßt sich das heißhärtende Harzsystem Hexcel RTM6, welches für die Luftfahrt zugelassen ist, einsetzen. Durch die Verwendung von niederviskosen Harzen läßt sich ein hoher Faservolumenanteil des Bauteils erreichen, welcher beispielsweise zwischen 40 % und 60 % liegt. Durch den hohen Faservolumenanteil kann die Masse des Bauteils verringert werden.

Andererseits haben heißhärtende Harze üblicherweise einen relativ geringen Siededruck, so daß es beim Aufheizen unter Unterdruckbeaufschlagung zum Sieden des Harzes kommen kann. Die dabei entstehenden Gasblasen können nicht mehr aus dem Werkstück entfernt werden und wirken sich somit negativ auf

die Werkstückqualität aus. Durch die erfindungsgemäße Steuerung und/oder Regelung der Unterdruckbeaufschlagung und der Temperatur läßt sich vermeiden, daß eben die Siedepunktkurve überschritten wird. Es lassen sich also erfindungsgemäß praktisch blasenfreie Bauteile herstellen mit einer hohen Reproduzierbarkeit.

Insbesondere läßt sich eine Trennung zwischen dem Faserhalbzeugaufbau (Laminataufbau) und Imprägnierung des Harzes erreichen. Es lassen sich dann erfindungsgemäß auch großflächige Bauteile mittels eines Vakuuminjektionsverfahrens herstellen, ohne daß ein Autoklav vorgesehen werden muß. Die Fertigungskosten für ein Bauteil lassen sich damit erheblich reduzieren. Beispielsweise lassen sich auch Schaumkerne und Inserts in einem Arbeitsgang integrieren.

Die Imprägnierung des Faserhalbzeugs selber stellt einen geschlossenen Prozeß dar, welcher in eine Vakuumatmosphäre erfolgt, d. h. getrennt ist von der Außenwelt. Dadurch ist die Arbeitsplatzbelastung gering und insbesondere ist es erreichbar, daß kein Hautkontakt mit Harz vorkommt.

Die Bauteilherstellung läßt sich auch gegenüber bekannten Verfahren mit geringerem Zeitaufwand durchführen. Dadurch wiederum sind die Kosten reduziert.

Vorteilhaft ist es, wenn die Unterdruckbeaufschlagung während der Harz-Infiltration über eine Vakuumpumpe gesteuert wird. Es läßt sich gezielt eine Pumpenleistung der Vakuumpumpe einstellen, welche sich dann direkt auf die Unterdruckbeaufschlagung des Werkstücks auswirkt. Mögliche Druckverluste in

Verbindungsleitungen und dergleichen können auf einfache Weise ermittelt werden bzw. sind bekannt, so daß während der Harz-Infiltration, bei der die Temperatur des injizierten Harzes und die Temperatur des Faserhalbzeugs definiert eingestellt werden, auch ein vorgegebener Unterdruck einstellbar ist, um das Sieden des Harzes zu vermeiden.

Um das Harz definiert dem Faserhalbzeug zuführen zu können, ist es besonders günstig, wenn ein Verteilergewebe vorgesehen ist, welches mit Unterdruck beaufschlagt wird. In dem Verteilergewebe, welches als Fließhilfe dient, sind Fließkanäle gebildet, in denen über einen Druckgradient oder Kapillarkwirkung ein Harzfluß erzeugt wird. Dadurch läßt sich das Werkstück gezielt mit dem Harz imprägnieren, wobei der Harzfluß und insbesondere Harzflußfronten steuerbar sind.

Günstig ist es, wenn der Druck nach der Harzinfiltration an einem Verteilergewebe gemessen wird, welches der Zuführung von Harz zum Faserhalbzeug dient. Da das Verteilergewebe üblicherweise eine hohe Permeabilität aufweist und das gesamte Werkstück bedeckt, ist eine Druckaufnahme an dem Verteilergewebe besonders geeignet, um eine Drucksteuerung und/oder Druckregelung durchzuführen.

Zur Druckmessung ist es vorteilhaft, wenn ein oder mehrere Drucksensoren nach der Harzinfiltration des Werkstücks in eine Wirkverbindung mit dem Verteilergewebe gebracht werden. Über diese Drucksensoren läßt sich dann der anstehende Druck ermitteln. Um während der Infiltration des Werkstücks mit Harz (Imprägnierung) das Eindringen von Harz in Verbindungsleitungen zu dem oder den Drucksensoren zu verhindern, ist

vor und während der Harz-Infiltration des Werkstücks die Wirkverbindung unterbrochen. In dieser Phase ist dann insbesondere der Druck über die Leistung der Vakuumpumpe eingestellt, um eben entsprechend ein Sieden des Harzes zu vermeiden. Nach der Harz-Infiltration wird dann die Wirkverbindung wieder hergestellt, indem beispielsweise eine Leitungsklemme gelöst wird. Am Drucksensor steht dann der Druck am Werkstück an und entsprechend kann mit Hilfe des Meßwerts des Drucksensors dann bei einer gegebenen Temperatur der Unterdruck so eingestellt werden, daß sich keine Gasblasen im Harz bilden.

Zur Herstellung von bestimmten Bauteilen kann es vorgesehen sein, daß das Faserhalbzeug bei der Harz-Infiltration in eine Form eingelegt ist. Dabei genügt es, die Form als einseitige Form auszubilden, auf welche das Faserhalbzeug aufgelegt wird. Mittels einer Vakuumfolie, welche über das Faserhalbzeug gelegt wird, läßt sich dann ein Vakuumraum herstellen, in welchem Unterdruck herrscht. Zur Bauteilfertigung muß kein speziell ausgebildeter Autoklav vorgesehen werden und insbesondere lassen sich auch großflächige Bauteile herstellen.

Zur Gewährleistung einer hohen Bauteilqualität ist es insbesondere vorgesehen, daß die Formtemperatur gesteuert und/oder geregelt wird. Dadurch läßt sich zum einen die Temperatur des Harzes bei der Infiltration (Imprägnierung) steuern und/oder regeln, um das Entstehen von Siedeblasen zu vermeiden. Zum anderen läßt sich eine optimale Temperatur für die Aushärtung des Harzes nach der Infiltration einstellen, um auch hier wiederum eine hohe Bauteilqualität zu sichern.

Zur Temperaturüberwachung kann es auch vorgesehen sein, daß eine Mehrzahl von Temperatursensoren an einer Vakuumfolie angeordnet werden. Die Vakuumfolie ist oberhalb des Werkstücks angeordnet, so daß auch in diesem Bereich eine Temperaturmessung ermöglicht wird.

Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die Temperatur hinsichtlich der Temperaturabhängigkeit der Viskosität des Harzes eingestellt wird. Ist die Viskosität zu hoch, dann besteht die Gefahr, daß Harz, welches das Faserhalbzeug tränkt, wieder herausfließt. Ist andererseits die Viskosität zu niedrig, dann wird das Faserhalbzeug nicht genügend imprägniert.

Günstigerweise erfolgt in einer Injektionsphase eine Harz-Infiltration bei einer bestimmten Temperatur oder in einem bestimmten Temperaturbereich, bei dem das Harz eine solche Viskosität aufweist, daß eine im wesentlichen gleichmäßige Harzfront ausbildbar ist. Die Harzfront als Fließfront durchläuft dann gleichmäßig das Faserhalbzeug und dieses wird gleichmäßig imprägniert, ohne daß Luft- und Gaseinschlüsse gebildet sind. Dadurch wiederum läßt sich eine hohe Bauteilqualität erreichen. In der Praxis hat es sich als günstig erwiesen, wenn die Temperatur so eingestellt wird, daß die Viskosität des Harzes im Bereich zwischen 10 mPas und 1000 mPas und insbesondere zwischen 20 mPas und 500 mPas liegt.

Während der Aushärtung von injiziertem Harz kann zur Unterstützung eben der Aushärtung die Temperatur erhöht werden. Andererseits sind auch exotherme Harzsysteme wie Hexcel RTM6

bekannt, die exotherm aushärten. Um ein Sieden des aushärtenden Harzes zu vermeiden, ist es deshalb vorteilhaft, wenn in einer Härtingsphase, welche sich an eine Injektionsphase anschließt, eine Verringerung der Unterdruckbeaufschlagung erfolgt. Dadurch wird auch vermieden, daß Harz aus dem Werkstück herausgezogen wird. Weiterhin wird dadurch die Gefahr des Ausgasens von Harz verringert.

Zur definierten Aushärtung und Gelierung des Harzes ist es günstig, wenn in der Härtingsphase, welche sich an die Injektionsphase anschließt, eine Temperaturerhöhung erfolgt.

Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn in einer Härtingsphase, in welcher das Harz vollständig aushärtet, die Temperatur erhöht wird, um eben so die vollständige Aushärtung des Harzes zu erreichen. Die Temperatur wird dabei gegenüber einer Injektionsphase erhöht. Für die Injektionsphase ist es günstig, wenn die Temperatur relativ niedrig eingestellt wird, um einen hohen Unterdruck (gutes Vakuum) einstellen zu können. In der Härtingsphase ist das Faserhalbzeug schon mit Harz getränkt und da der Druck dann erhöhbar ist (Unterdruck verringerbar), kann auch eine Temperaturerhöhung für die Aushärtung durchgeführt werden.

Weiterhin ist es besonders vorteilhaft, wenn die Temperatur in der endgültigen Aushärtungsphase auch gegenüber einer Härtingsphase, welche sich an eine Injektionsphase anschließt, erhöht wird. In der endgültigen Härtingsphase ist

das Harz bereits so weit ausgehärtet, daß sich keine Siedebblasen mehr bilden, so daß selbst ohne weitere Druckerniedrigung eine Temperaturerhöhung möglich ist. Durch die Temperaturerhöhung wird das Harz vollständig ausreagiert.

Fertigungstechnisch günstig ist es, wenn die Temperatur so eingestellt wird, daß eine bestimmte Verarbeitungszeit oder ein bestimmter Verarbeitungszeitraum für das Harz vorgegeben wird. Neben Einstellung und Überwachung von Druck und Temperatur und dadurch wiederum der Viskosität muß auch der Verarbeitungszeitraum für das Harz berücksichtigt werden, da dieses eben geliert, wobei die Gelierzeit wiederum abhängig ist von der Temperatur. Wird die Temperatur zu hoch gewählt, dann geliert das Harz unter Umständen zu schnell, ohne daß beispielsweise eine gleichmäßige Imprägnierung des Faserhalbzeugs erreicht wurde. Der Verarbeitungszeitraum ist dabei an die Bauteilgröße angepaßt eingestellt.

Erfindungsgemäß ist es insbesondere vorgesehen, daß eine Prozeßüberwachung bezüglich Harz-Infiltration und Harz-Aushärtung durchgeführt wird. Dadurch läßt sich eine hohe Bauteilqualität erreichen, indem zum einen die Entstehung von Siedebblasen während der Harz-Infiltration und Harz-Aushärtung vermieden wird und andererseits das Heraussaugen von Harz aus dem imprägnierten Faserhalbzeug während der Härtingsphase vermieden wird. Auch das Ausgasen von Harz während der Härtingsphase läßt sich vermeiden. Darüber hinaus läßt sich eine definierte Harz-Aushärtung durchführen.

Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß das Harz vor der Infiltration zur Viskositätserhöhung



vorgealtert wird. Dazu wird das Harz für eine bestimmte Zeit auf einer bestimmten Temperatur oder in einem bestimmten Temperaturbereich gehalten. Wenn dann dieses vorgealterte (vorreagierte) Harz dem Faserhalbzeug zugeführt wird, dann ist es weniger dünnflüssig und das Problem des "Durchfließens" des Harzes durch das Faserhalbzeug während der Imprägnierung oder das Problem des Herausaugens von Harz aus dem imprägnierten Faserhalbzeug ist verringert.

Günstigerweise wird eine Harzfalle vorgesehen, mittels welcher nach der Harz-Infiltration eine gleichmäßige Unterdruckbeaufschlagung ermöglicht wird und die eine Harzabsaugung während einer Härtingsphase des Harzes im wesentlichen verhindert. Durch eine solche Harzfalle läßt sich nach der Imprägnierung die Bauteilqualität sichern, da eben kein Harz herausgesaugt wird und andererseits weiterhin die Unterdruckbeaufschlagung gleichmäßig bleibt.

Günstigerweise umfaßt die Harzfalle eine Absaugeführung, welche einen derart großen Innendurchmesser aufweist, daß Luft- und Gasblasen aufsteigen können, ohne daß Harz in einen Absaugeraum gedrückt wird. Dadurch läßt sich das Verteilergewebe mit Unterdruck beaufschlagen; einerseits wird dann die Gleichmäßigkeit der Unterdruckbeaufschlagung des Werkstücks gefördert und andererseits wird Harz höchstens aus dem Verteilergewebe gesaugt, aber nicht aus dem Werkstück. Ist die Absaugeführung selber mit Unterdruck beaufschlagt, dann kann dadurch die Gleichmäßigkeit der Unterdruckbeaufschlagung des Werkstücks unterstützt werden. Beispielsweise läßt sich ein Vorratsbehälter für Harz nach der Infiltration als Absaugebehälter einsetzen, indem ein Deckel luftdicht verschlossen

wird. In dem Absaugebehälter steht dann ebenfalls der Vakuumdruck (Unterdruck) innerhalb eines Vakuumraums am Werkstück an, um eben die Gleichmäßigkeit der Unterdruckbeaufschlagung über das Werkstück zu fördern. Andererseits wird durch die Absaugeführung verhindert, daß das Harz in den Absaugebehälter aufsteigen kann. Günstig ist es also, wenn der Absauge-  
raum in einem Vorratsbehälter für Harz zur Harzinjektion gebildet ist.

Bei einer vorteilhaften Variante einer Ausführungsform ist ein Verteilergewebe, welches als Fließhilfe für die Harzzuführung zum Faserhalbzeug dient, ab einem bestimmten Abstand zu einem Werkstückrand nicht mehr wirksam. Wenn Harz von dem Verteilergewebe in das Faserhalbzeug eindringt und insbesondere senkrecht zu Laminatschichten des Faserhalbzeugs eindringt, dann bildet sich eine Fließfront mit einem bestimmten Fließfrontwinkelverlauf aus. Ist das Verteilergewebe auch noch am Werkstückrand wirksam, so können sich dort gegenläufige Fließfronten ausbilden, was zu Lufteinschlüssen führen kann, die die Bauteilqualität beeinflussen können. Dadurch, daß das Faserhalbzeug ab einem bestimmten Abstand zu einem Werkstückrand nicht mehr wirksam ist, läßt sich der Fließfrontwinkel erhöhen und insbesondere läßt er sich im Idealfall senkrecht zu Schichtflächen der Laminatstruktur stellen. Dadurch können keine Lufteinschlüsse entstehen.

In der Praxis hat es sich als günstig erwiesen, wenn der Abstand im Bereich zwischen 10 mm und 50 mm und insbesondere zwischen 25 mm bis 35 mm liegt. Der jeweils eingestellte Abstand hängt von der Bauteildicke ab.

Bei einer Variante einer Ausführungsform ist die Fließhilfe in dem Bereich an dem Werkstückrand dadurch unwirksam gemacht, daß das Verteilergewebe vor dem bestimmten Abstand endet, so daß also das Verteilergewebe nicht bündig mit dem Werkstückrand endet. Die Geschwindigkeit des Harzes ist dann in dem Bereich ohne Verteilergewebe stark reduziert, was zu einer Erhöhung des Fließwinkels der Harzfront führt.

Bei einer alternativen Ausführungsform ist eine Abdeckfolie zwischen Werkstück und Verteilerfolie zur Begrenzung der Wirksamkeit des Verteilergewebes vorgesehen, wodurch wiederum die Harzzufuhr zu dem Halbzeug behindert wird und dadurch wiederum die Geschwindigkeit des Harzes reduziert wird; auch auf diese Weise läßt sich eine steilere Harzfront ausbilden.

Das Problem von Lufteinschlüssen kann auch an Werkstückkanten entstehen, an denen Laminatschichten in einem Winkel aufeinandertreffen. Der Harzfrontverlauf ist an einer solchen Kante gebogen, was wiederum zu Lufteinschlüssen führen kann. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, daß das Verteilergewebe, welches als Fließhilfe bei der Harzzuführung dient, bezüglich einer Werkstückkante zur Steuerung des Fließfrontwinkelverlaufs des Harzes geschnitten wird. Durch das Schneiden des Verteilergewebes an der Kante entsteht ein Spalt zwischen Verteilergewebestücken, welche den Laminatschichten zugeordnet sind, die in einem Winkel aufeinandertreffen. Es ist dann an der Kante selber wiederum die Geschwindigkeit des Harzflusses reduziert, was zu einem steileren Harzflußfrontwinkel führt, wodurch wiederum die Gefahr von Lufteinschlüssen weitgehend vermieden ist.

Ganz besonders günstig ist es, wenn ein oder mehrere Vakuumports vorgesehen werden, über welchen oder welche das Werkstück mit Unterdruck beaufschlagt wird und der oder die mit einer oder mehreren Vakuumpumpen verbunden ist oder sind. Über den Vakuumport läßt sich der Unterdruck in einen Vakuumraum, welcher insbesondere durch eine Vakuumfolie begrenzt ist, einleiten.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich kostengünstig einsetzen, wenn ein Vakuumport als Harzfalle ausgebildet ist, welche eine bestimmte Harzmenge aufnehmen kann, um das Eindringen von Harz in ein Vakuumsystem zu verhindern. Es kann vorkommen, daß Harz von dem Vakuumport angesaugt wird. Durch eine Ausbildung als Harzfalle wird das Vakuumsystem nicht verunreinigt.

Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß der Vakuumpfort über Verteilergewebe an eine Faserhalbzeug-Unterseite angeschlossen wird. Die Unterdruckbeaufschlagung wirkt dann auf das Faserhalbzeug, wobei andererseits es durch entsprechende Dichtungen vermeidbar ist, daß

Harz über den Vakuumport von einer Oberseite des Verteilergewebes angesaugt wird.

Günstig ist es, wenn ein Anschluß des Vakuumports an eine Vakuumfolie abgedichtet wird, um einen Vakuumraum ausbilden zu können.

Weiterhin ist es günstig, wenn das Verteilergewebe gegenüber einem Werkstückrand abgedichtet wird, so daß mittels des Vakuumports nicht Harz von oben herausgesaugt werden kann. Weiterhin ist es auch günstig, wenn zwischen Verteilergewebe und Dichtung eine Folie angeordnet ist und wenn der Vakuumport gegenüber dem Werkstück abgedichtet wird. Die Unterdruckbeaufschlagung des Werkstücks erfolgt dann im wesentlichen nur über das Verteilergewebe, welches an eine Faserhalbzeug-Unterseite angeschlossen wird. Die möglichen Eindringkanäle, über welche Harz zu dem Vakuumport gelangen kann, sind dann minimiert.

Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn bei einem Werkstückrand eine Harzbremse angeordnet wird. Bei niederviskosem Harz (dünnflüssigem Harz) besteht die Gefahr, daß zwar Harz in ein Faserhalbzeug injiziert wird, daß dieses aber auch teilweise wieder herausfließen kann bzw. abgesaugt werden kann. Durch die Harzbremse als Stoppbereich für den Harzfluß läßt sich dies verringern bzw. vermeiden.

Günstig ist es, wenn ein erster Anschluß zur Unterdruckbeaufschlagung bezogen auf das Faserhalbzeug vor einer Harzbremse angeordnet ist und ein zweiter Anschluß hinter einer Harzbremse angeordnet wird. Über den ersten Anschluß läßt sich

dann die Gleichmäßigkeit der Unterdruckbeaufschlagung während der Harzinfiltration erreichen. Über den zweiten Anschluß wird der Unterdruck auch nach der Imprägnierung des Faserhalbzeugs aufrechterhalten, während der erste Anschluß abgekoppelt wird (die Unterdruckbeaufschlagung gestoppt wird), wenn die Harzfront diesen erreicht.

Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß eine Prozeßüberwachung mittels Ultraschallbeaufschlagung des Werkstücks durchgeführt wird. Es kann sich dabei um eine online-Prozeßüberwachung handeln, wobei insbesondere die Schallgeschwindigkeit und die Dämpfung im Werkstück ermittelt werden. Dadurch kann beispielsweise der Aushärtungsgrad des Harzes bestimmt werden, und es kann auch die Werkstückqualität überwacht werden.

Beispielsweise wird als heißhärtendes Harz ein Polyadditionsharz wie ein Epoxidharz oder ein Bismaleinharz eingesetzt.

Günstig ist es weiterhin, wenn die Harzzuführungsgeschwindigkeit von Harz aus einem Harzvorrat zu dem Faserhalbzeug steuerbar ist, um eine gute Imprägnierung des Faserhalbzeugs mit Harz zu erhalten.

Die eingangs genannte Aufgabe wird ferner gelöst durch eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, welche mindestens einen Vakuumport zur Unterdruckbeaufschlagung eines Werkstücks umfaßt, wobei der Vakuumport als Harzfalle ausgebildet ist, welche eine bestimmte Menge an Harz aufnehmen kann, um das Eindringen von Harz in ein Vakuumsystem, welches mit dem Vakuumport verbunden ist, zu verhindern.

Diese Vorrichtung weist die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläuterten Vorteile auf.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche, welche sich an den entsprechenden Vorrichtungsanschluß anschließen. Vorteile dieser Ausführungsformen wurden ebenfalls bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläutert.

Die eingangs genannte Aufgabe wird ferner gelöst durch eine Anordnung zur Herstellung eines Bauteils aus einem faserverstärkten Werkstoff mittels Harzimprägnierung eines Faserhalbzeugs, welche umfaßt:

- eine Form;
- eine Vakuumfolie, mittels welcher ein Vakuumraum herstellbar ist, in welchem das Faserhalbzeug auf der Form positionierbar ist, wobei der Vakuumraum mit Unterdruck beaufschlagbar ist und
- eine Zuführungsvorrichtung für flüssiges Harz zu dem Faserhalbzeug,

wobei erfindungsgemäß Unterdruckbeaufschlagung und Temperatur bei der Harzimprägnierung so steuerbar und/oder regelbar sind, daß bezogen auf das flüssige Harz die Siedepunktkurve nicht überschritten wird.

Diese Anordnung weist die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung erläuterten Vorteile auf.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen wurden bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung erläutert.

Die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen dient im Zusammenhang mit der Zeichnung der näheren Erläuterung der Erfindung. Es zeigen:

- Figur 1            eine schematische Darstellung einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Werkstücks aus einem faserverstärkten Werkstoff;
- Figur 2            eine Variante einer Anordnung eines Vakuumports;
- Figur 3            den Verlauf einer Harzfließfront am Rande eines Werkstücks gemäß dem Stand der Technik;
- Figur 4            eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Anordnung, bei welcher der Verlauf einer Harzfließfront gezielt eingestellt wird;
- Figur 5            eine zweite Variante einer Anordnung zur gezielten Einstellung eines bestimmten Harzfrontverlaufs in der Nähe eines Rands des Werkstücks;



- Figur 6(a) eine schematische Schnittansicht einer Vorrichtung zur Herstellung eines Werkstücks aus einem faserverstärkten Werkstoff mittels Vakuuminjektion;
- Figur 6(b) eine Draufsicht auf die Vorrichtung gemäß Figur 6(a);
- Figur 7 den Verlauf einer Harzfließfront an einer Kante des Werkstücks gemäß dem Stand der Technik;
- Figur 8 einen vergrößerten Ausschnitt aus Figur 6(a), den Verlauf einer Harzfront zeigend, wenn ein Verteilergewebe erfindungsgemäß angeordnet und ausgebildet ist;
- Figur 9 die Siedepunktkurve des heißhärtenden Harzes Hexcel RTM6;
- Figur 10 die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität von flüssigem Hexcel RTM6;
- Figur 11 die Temperaturabhängigkeit der Verarbeitungszeit  $t^*$  von Hexcel RTM6 und
- Figur 12 einen schematischen Verlauf von Druck und Temperatur über der Zeit bei einer Herstellungsvariante eines Bauteils.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem faserverstärkten Werkstoff ist, wie in Figur 1 mittels eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Anordnung schematisch dargestellt, eine beheizbare Form 10 vorgesehen, an welcher ein Faserhalbzeug 12 positionierbar ist. Die Form 10 ist dabei vorzugsweise eine einseitige Form. Das Faserhalbzeug 12 weist insbesondere eine Laminatstruktur auf.

Die Form 10 ist über eine Heizvorrichtung 14 heizbar, und zwar insbesondere so, daß mindestens über den Formbereich, in dem eine Bauteilherstellung erfolgt, die Temperatur gezielt einstellbar ist. Bei einer Variante einer Ausführungsform wird die Temperatur der Form 10 über eine Mehrzahl von Temperatursensoren 16 überwacht, welche jeweils über eine Meßsignalleitung 18 mit einer Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 20 verbunden sind, um an diese ein Temperaturmeßresultat zu liefern.

Zwischen dem Faserhalbzeug 12 und der Form 10 ist ein Trennmittel 22 beispielsweise in der Form einer Trennfolie angeordnet, um die Lösung eines ausgehärteten Bauteils aus der Form 10 zu erleichtern.

Dem Faserhalbzeug 12 wird Harz durch Unterdruckbeaufschlagung zugeführt (Vakuuminjektion). Dazu ist eine Vakuumpumpe 24 vorgesehen, deren Leistung insbesondere steuerbar ist, um so gezielt einen bestimmten Unterdruck bei der Bauteilherstellung einstellen zu können. Vorzugsweise ist die Vakuumpumpe 24 dazu über eine Steuerleitung 26 mit der Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 20 verbunden, über welche eben die

Pumpenleistung steuerbar ist. Die Vakuumpumpe 24 ist weiterhin über eine Saugleitung 28 mit einem Vakuumport 30 verbunden, welcher einen Flansch 32 aufweist, der an einem becherförmigen Aufnahmeelement 34 gebildet ist. Durch den Flansch 32 läßt sich das Aufnahmeelement 34 aufsetzen, wobei eine große Auflagefläche bereitgestellt ist, so daß ein Abdruck des Aufnahmeelements 34 weitgehend vermeidbar ist und auch das Abklemmen von Zwischengewebelagen wie eines Verteiler-gewebes oder eines Peel-Ply's.

In dem Aufnahmeelement 34 ist ein Aufnahmeraum 36 gebildet, welcher auf einer Seite mit der Vakuumpumpe 24 in Verbindung steht und welcher auf der anderen Seite hin offen ist, so daß über ihn eine Wirkverbindung zur Unterdruckbeaufschlagung des Werkstücks herstellbar ist. Der Aufnahmeraum 36 kann, wie unten noch näher beschrieben wird, entsprechend seinem Volumen Harz aufnehmen, so daß das Einsaugen von Harz in die Saugleitung 28 durch die Ausbildung des Vakuumports 30 als Harzfalle (Harzpuffer) vermeidbar ist.

Für den Druckabschluß des Werkstücks gegenüber dem Außenraum ist über diesem eine Vakuumfolie 38 angeordnet, unterhalb welcher die durch die Vakuumpumpe 24 erzeugte Unterdruckbeaufschlagung wirksam ist, die zu einer Harzansaugung und damit Harz-Infiltration des Faserhalbzeugs 12 führt. Zwischen der Vakuumfolie 38 und der Form 10 ist zur Druckabdichtung um das Werkstück eine Dichtung 40 beispielsweise in der Form eines Dichtungsbandes angeordnet. Auch in dem Bereich, in welchem der Vakuumport 30 bzw. die Saugleitung 28 durch die Vakuumfolie 38 hindurchgeführt ist, ist eine Dichtung angeordnet. Vorteilhafterweise ist weiterhin eine Oberseite des

Flansches 32 abgeschrägt ausgebildet, so daß der Flansch kegelstumpfförmig ausgebildet ist mit einem Kegelwinkel, der beispielsweise in der Größenordnung von  $150^\circ$  liegt. Die Oberseite des Flansches 32 kann dann als Dichtfläche für die Vakuumfolie 38 verwendet werden.

Es kann insbesondere auch eine Mehrzahl von Vakuumports und auch Vakuumpumpen vorgesehen werden, die an unterschiedlichen Stellen bei der Anordnung zur Herstellung des Bauteils positioniert sind. Ein Vakuumport ist dabei in einem Abstand zu einem Rand 42 des Faserhalbzeugs 12 positioniert, welcher bei der Harzinjektion von der Fließfront des flüssigen Harzes zuletzt erreicht wird. Dieser Vakuumport wird daher auch zuletzt von Harz erreicht und die Unterdruckbeaufschlagung über diesen Vakuumport ist so lange ausübbar, bis eben die Harzfront diesen Vakuumport erreicht.

Um das Faserhalbzeug 12 ist ein Verteilergewebe 44 angeordnet, welches als Fließhilfe für das Harz zur Zuführung zu dem Faserhalbzeug dient. In dem Verteilergewebe 44 sind Fließkanäle für das Harz gebildet, um eben dieses flächig über dem Faserhalbzeug 12 zu verteilen. Darüber hinaus ist das Verteilergewebe 44 so ausgebildet, daß die Unterdruckbeaufschlagung des Faserhalbzeugs 12 gleichmäßig durchführbar ist.

Zur Unterdruckbeaufschlagung des Faserhalbzeugs 12 zur Vakuuminjektion von Harz ist es dabei insbesondere vorgesehen, daß ein oder mehrere Vakuumports auch an dem Verteilergewebe 44 positioniert sind. Dies ist in Figur 6(b)

durch die Vakuumports mit den Bezugszeichen 46a, 46b angedeutet, während die Vakuumports 48a und 48b außerhalb des Faserhalbzeugs positioniert sind. Erreicht die Fließfront des Harzes entsprechend solche Vakuumports, welche an dem Verteilergewebe positioniert sind, dann wird deren Unterdruckbeaufschlagung abgeschaltet, um ein Heraussaugen von Harz aus dem Werkstück zu vermeiden.

Zwischen dem Verteilergewebe 44 und dem Faserhalbzeug 12 wird vor der Harz-Infiltration eine Trennfolie 50 angeordnet, welche dazu dient, daß nach der Harzaushärtung das Verteilergewebe 44 von dem Werkstück leichter gelöst werden kann.

Weiterhin ist ein Peel-Ply 52 vorgesehen, welches auf dem Faserhalbzeug 12 unterhalb der Trennfolie 50 angeordnet wird (in Figur 1 aus Übersichtlichkeitsgründen nur teilweise gezeigt). Das Peel-Ply 52 hat die Aufgabe, eine definierte Werkstückoberfläche (Laminat-Oberfläche) zu erzeugen und damit zu gewährleisten, daß das Werkstück nach dem Aushärten des Harzes weiterverarbeitet werden kann. Das Peel-Ply 52 ist permeabel, so daß eine Harz-Infiltration des Faserhalbzeugs 12 über dieses hindurch erfolgen kann. Das Peel-Ply wird nach dem Aushärten des Harzes von der Werkstückoberfläche entfernt.

An dem Werkstückrand 52 ist ein Stoppbereich 54 als Harzbremse ausgebildet, welcher eine Barriere für dünnflüssiges Harz darstellt und verhindert, daß entsprechend niedrigviskoses Harz, mit welchem das Faserhalbzeug 12 infiltriert wurde, aus diesem wieder herausläuft. Beispielsweise umfaßt der Stoppbereich 54 ein einlagiges Peel-Ply mit einer Breite

von beispielsweise 10 cm, welche um den Werkstückrand 42 gelegt wurde. Es ist dazu günstig, wenn einerseits der Stoppbereich mittels eines Dichtbands 56 gegenüber der Vakuumfolie 38 abgedichtet wird und andererseits mittels eines Dichtbands 58 gegenüber der Form 10 abgedichtet wird, wobei jedoch die Unterdruckbeaufschlagbarkeit des Faserhalbzeugs 12 gewährleistet sein muß.

Weiterhin ist es vorteilhaft, den Stoppbereich 54 auf eine niedrigere Temperatur als das Werkstück zu legen, so daß am Stoppbereich 54 die Fließfähigkeit des Harzes dort verringert ist.

Die Anordnung von Vakuumpports kann dann dahingehend unterschiedlich sein, daß diese bezogen auf das Faserhalbzeug 12 innerhalb des Stoppbereichs liegen (Vakuumpports 46a, 46b in Figur 6(b)) und/oder außerhalb des Stoppbereichs 54 liegen (Vakuumpport 30 in Figur 1; Vakuumpports 48a, 48b in Figur 6(b)).

Der Druck an dem Werkstück ist über mindestens einen Drucksensor 60 ermittelbar, welcher (welche mit dem Verteilergewebe 44 in Wirkverbindung bringbar ist (sind)). Zur Druckabnahme ist dabei ein Anschlußflansch 62 mit einer großen Grundfläche vorgesehen, um Abdrücke auf der Werkstückoberfläche zu vermeiden und eine Verteilergewebe-Abklemmung zu verhindern. Der Anschlußflansch 62 ist dabei beispielsweise über einen Schlauch 64 mit dem Drucksensor 60 verbunden, wobei der Schlauch 64 über eine Schlauchklemme 66 abklemmbar ist. Die Schlauchklemme ist vorzugsweise direkt über dem Anschlußflansch 62 angeordnet, so daß kein Harz in den Schlauch

64 eindringen kann und den Drucksensor 60 beschädigen kann, wenn sie abklemmt. Es läßt sich dann erreichen, daß vor der Infiltration und während der Infiltration des Harzes am Werkstück über die Schlauchklemme 66 der Drucksensor 60 abkoppelbar ist und erst nach der vollständigen Injektion des Harzes die Druckmessung bewerkstelligt wird, indem zuerst nach Öffnung der Klemme die im Schlauch 64 verbliebene Luft über das Verteilergewebe 44 abgesaugt wird, und zwar bis der Druck im Schlauch 64 dem Druck im Faserhalbzeug 12 entspricht; mittels des Drucksensors 60 läßt sich dann die (Unter-)Druckbeaufschlagung des Faserhalbzeugs 12 messen.

Der Drucksensor 60 ist über eine Signalleitung 68 mit der Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 20 verbunden, damit dieser die gemessenen Druckwerte übermittelt werden können.

Weiterhin können auch Temperatursensoren über das Verteilergewebe verteilt angeordnet sein, um eben entsprechende Temperaturmeßwerte zu erhalten und diese an die Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 20 weiterzuleiten (nicht gezeigt).

Für die Harzzufuhr zu dem Faserhalbzeug 12 ist eine Zuführungsvorrichtung mit einem Vorratsbehälter 70 vorgesehen, der insbesondere über eine Heizung 72 beheizbar ist, um die Temperatur von injiziertem Harz einstellen zu können. Die Heizung 72 ist dazu über eine Steuerleitung 74 mit der Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 20 verbunden.

Von dem Vorratsbehälter 70 für Harz führt eine Zuführungsleitung 76 zu dem Vakuumraum 78 zwischen Form 10 und Vakuumfolie 38. Die Zuführungsleitung 76 ist dabei insbesondere

durch einen Silikonschlauch gebildet. Insbesondere erfolgt eine Zuführung von Harz von dem Vorratsbehälter 70 zu dem Faserhalbzeug 12, welches beispielsweise ein Laminat ist, um einen Linienanguß durchzuführen, vorzugsweise gesteuert, indem beispielsweise mittels einer Schlauchklemme an der Zuführungsleitung 76 der Durchfluß durch diese entsprechend gesteuert wird.

Bei einer Variante einer Ausführungsform ist eine online-Prozeßkontrolle bezüglich der Werkstückqualität durch Ultraschallbeaufschlagung des Werkstücks über eine Ultraschallprüfungseinrichtung 80 möglich. Insbesondere wird die Schallgeschwindigkeit und Schalldämpfung im Werkstück während des Herstellungsprozesses beispielsweise mittels eines Sensorpaares in Durchschaltung ermittelt. Ist das Harz ausgehärtet, dann ist die Ultraschalldämpfung minimal und die Schallgeschwindigkeit maximal; es läßt sich also über die Ultraschall-Prozeßkontrolle der Aushärtungsgrad ermitteln. Weiterhin lassen sich auch Aussagen über die Werkstückqualität treffen.

Bei einer alternativen Ausführungsform, welche in Figur 2 gezeigt ist, ist der Vakuumport 30 auf einem Verteilergewebestreifen 82 positioniert, welcher wiederum gegebenenfalls unter Zwischenschaltung einer Trennfolie auf der Form 10 positioniert ist. Elemente der Figur 2, die denjenigen in Figur 1 entsprechen, werden dabei mit dem gleichen Bezugszeichen wie dort bezeichnet. Der Verteilergewebestreifen 82 reicht unter das Faserhalbzeug 12 in einem breiten Bereich von beispielsweise 1 cm, wobei der Verteilergewebestreifen



84, auf welchem das Faserhalbzeug 12 angeordnet wird, insbesondere einlagig ist. Zwischen der Vakuumfolie 38 und einer Stoppfolie 86 ist eine Dichtung 88 angeordnet, mittels welcher der Vakuumport 30 gegenüber einer Oberseite des Faserhalbzeugs 12 abgedichtet wird. Weiterhin ist eine Dichtung 90 zwischen der Stoppfolie 86 und dem Verteilergewebestreifen 84 angeordnet, um eine Abdichtung der Vakuumfolie 38 gegenüber dem Faserhalbzeug 12 zu erreichen. Zwischen der Dichtung 88 und dem Verteilergewebestreifen 84 ist dabei ein Folienstreifen 90 vorgesehen, welcher verhindert, daß die Dichtung 88 den Verteilergewebestreifen 84 blockiert; der Folienstreifen 90 dient also als Abdeckung für den Verteilergewebestreifen 84.

Aufgrund dieser Anordnung der Dichtungen 88 und 90 erfolgt die Unterdruckbeaufschlagung des Faserhalbzeugs 12 vermittelt über den Verteilergewebestreifen 84 und es ist ein Stoppbereich am Rande 42 des Faserhalbzeugs 12 gebildet. Durch den Anschluß des Verteilergewebes 84 an die Unterseite des Faserhalbzeugs 12, wobei die Zuführung von Harz von der Oberseite her erfolgt, kann der Vakuumport 30 bis zur vollständigen Imprägnierung des Faserhalbzeugs 12 Luft aus dem Vakuumraum 78 ansaugen; dadurch läßt sich auf effektive Weise die Vakuuminjektion des Harzes durchführen.

Bei dem in Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Vakuumfolie 38 an die Oberseite des Flansches 32 mittels eines ringförmigen Dichtbands 94 druckdicht angeschlossen.

In Figur 3 ist schematisch der Harzfrontverlauf gezeigt, wenn diese den Bauteilrand 42 erreicht, wobei das Verteilergewebe

bündig mit dem Bauteilrand 42 endet. Erstreckt sich also das Verteilergewebe 44 bis zum Rand 42, dann ist ein Fließfrontwinkel gegenüber dem Faserhalbzeug 12 gebildet, wenn zu einem Zeitpunkt 96 die Harzfront den Rand 42 an einem oberen Ende 98 des Faserhalbzeugs 12 erreicht.

Am Rand 42 des Werkstücks sind Hohlräume und offene Fließkanäle vorhanden, welche beispielsweise durch nicht exakt zugeschnittene Gewebelagen oder durch Falten der Vakuumfolie 38 verursacht sind. Das Harz dringt in diese Hohlräume ein und kann das Werkstück von dem Rand 42 her einwärts infiltrieren, so daß sich eine gegenläufige Fließfront 100 ausbilden kann. Durch die zwei gegeneinander laufenden Fließfronten (Momentaufnahme 96 und Momentaufnahme 100) können Lufteinschlüsse 102 im Werkstück entstehen, die sich negativ auf die Bauteilqualität auswirken können.

Erfindungsgemäß werden Lufteinschlüsse wie der Lufteinschluß 102 dadurch vermieden, daß erreicht wird, daß das Verteilergewebe 44 ab einem bestimmten Abstand zu dem Werkstückrand 42 bezüglich der Harzzuführung unwirksam gemacht wird.

Bei einer Variante einer Ausführungsform, welche in Figur 4 gezeigt ist, endet dazu das Verteilergewebe 44 vor dem Rand 42, so daß zwischen einem Ende 104 des Verteilergewebes 44 und dem Werkstückrand 42 ein Abstand liegt, welcher insbesondere im Bereich zwischen 20 mm und 30 mm liegt. Erreicht die Harzfront das Ende 104 des Verteilergewebes 44 zu einem Zeitpunkt 106, so bildet sich der gleiche Fließwinkel wie in Figur 3 zum Zeitpunkt 96, sofern die weiteren Bedingungen entsprechend gleich sind. Der Fließfrontwinkel verringert

sich aber mit zunehmender Zeit, da sich die Geschwindigkeit der Fließfront reduziert, da zwischen dem Ende 104 des Verteilergewebes 34 und dem Bauteilrand 42 von oben der Harzzufluß stark verringert ist. Mit zunehmender Zeit wird der Fließfrontwinkel im steiler und idealerweise bildet sich eine senkrechte Fließfront 108 aus.

Die Geschwindigkeitsverringerung der Fließfront wird dadurch verursacht, daß die Harzfront im Faserhalbzeug 12 sehr viel langsamer läuft als im Verteilergewebe 44 und zum anderen mehr Harz auf einer kleineren Fläche herangeführt werden muß.

Es können sich dann keine gegenläufigen Fronten ausbilden und Lufteinschlüsse sind dadurch vermieden und das Faserhalbzeug 12 wird in der Nähe des Bauteilrands 42 gleichmäßiger infiltriert.

In Figur 5 ist eine Variante gezeigt, bei der das Verteilergewebe bündig mit dem Bauteilrand 42 endet. Jedoch ist der Bauteilrand mit einer Folie 110 abgedeckt, welche beispielsweise eine Breite von 50 mm aufweist. Die Trennfolie 50 und das Verteilergewebe laufen über die Folie 110. Die Folie 110 selber ist undurchlässig für das Harz. Die Harzzuführung zu dem Faserhalbzeug 12 ist also im Bereich der Folie 110 von oben her blockiert. Dies verursacht den gleichen Effekt, wie er anhand des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 4 beschrieben wurde: Die Fließgeschwindigkeit des Harzes reduziert sich und der Fließfrontwinkel vergrößert wird und im Idealfall entsteht eine senkrechte Fließfront 108.

Bei einem Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, wie in Figur 6(a) gezeigt, eine einseitige Form 112 vorgesehen, welche eine Senke 114 aufweist, so daß auch Bauteile herstellbar sind, welche aneinandergrenzende Flügel aufweisen. Die Form 112 ist auf einer Grundplatte 116 montiert. Sie ist insbesondere heizbar.

Ein Faserhalbzeug 118 wird in der Senke 114 positioniert und ein Peel-Ply 120, eine Trennfolie 122 und ein Verteilergewebe 124 darauf positioniert. Eine Vakuumfolie (in der Figur 6(a) nicht gezeigt) wird mittels eines Dichtungsbands 126 druckdicht darüber angeordnet, um einen Vakuumraum 128 zu bilden, mittels dem Harz in das Faserhalbzeug 18 injizierbar ist.

Weiterhin ist eine Harzbremse 130 vorgesehen, welche wie bereits im Zusammenhang mit dem Stoppbereich 54 geschildert, das Herauslaufen von dünnflüssigem Harz verhindert.

Die Vakuumdruckbeaufschlagung über Vakuumport 46a, 46b, 48a, 48b erfolgt wie bereits im Zusammenhang mit dem Vakuumport 30 beschrieben.

Für das Harz ist ein Harzvorratsbehälter 132 vorgesehen.

Grundsätzlich besteht die Gefahr, daß Lufteinschlüsse bei der Infiltration von umlaufenden Werkstückkanten 134 entstehen können, wie es beispielhaft in Figur 7 gezeigt ist, welche einen vergrößerten Ausschnitt des Bereichs A der Figur 6(a) darstellt. Das Verteilergewebe 124 macht an der Werkstückkante 134 einen Knick, um eben der Kontur des Faserhalbzeugs

18 zu folgen. Das Faserhalbzeug 118 weist beispielsweise eine Laminatstruktur 136 (Schichtstruktur) auf. Zu einem Zeitpunkt 138 hat die Harzfront in der Laminatstruktur 136 die Werkstückkante 134 erreicht und die Harzfront läuft mit unveränderter Geschwindigkeit um die Werkstückkante 134 herum. Die Zuführungsgeschwindigkeit des Harzes von dem Verteilergewebe 124 her senkrecht zu den Schichten 140 der Laminatstruktur ist dabei ebenfalls im wesentlichen konstant, so daß sich insgesamt ein bogenförmiger Fließfrontwinkelverlauf 142 im Bereich der Werkstückkante 134 ergibt. Dadurch entsteht aber die Gefahr, daß sich Lufteinschlüsse 144 in dem Werkstück nahe einer Oberfläche der Form 112 bilden können, da eine Fließfront 146 mit dem Fließfrontenwinkel in Schichten 148 senkrecht zu den Schichten 140 weiterläuft, während die Harzufuhr zu dem Bereich 144 gestoppt ist.

Um dies zu vermeiden, wird erfindungsgemäß, wie in Figur 8 gezeigt, das Verteilergewebe 124 an der Werkstückkante 134 geschnitten, so daß in diesem Bereich 150 das Verteilergewebe 124 nicht fortlaufend ist, sondern ein Spalt 152 zwischen den Schnittenden des Verteilergewebes 124 gebildet ist, welcher beispielsweise eine Breite von ca. 20 mm aufweist.

Zu einem Zeitpunkt 154 weist die Harzfront den üblichen Fließfrontwinkel auf, wenn diese weit entfernt ist von der Werkstückkante. Dadurch, daß auch über den Spalt 152 Harz der Laminatstruktur 136 zugeführt wird, benötigt die Harzfront eine längere Zeit, bis sie die Werkstückkante 134 durchlaufen hat. Es muß mehr Harz herangeführt werden, und in der Laminatstruktur 136 verläuft die Harzfront langsamer als in

dem Verteilergewebe 124. Durch die Reduktion der Fließgeschwindigkeit wird der Fließfrontwinkel steiler und im Idealfall bildet sich eine senkrechte Fließfront aus. Nach dem Umfließen der Werkstückkante 134 kann sich dann in genügendem Abstand wieder der normale Fließfrontwinkel ausbilden. Durch das Steilerwerden der Fließfront ist die Gefahr der Entstehung von Lufteinschlüssen 144 stark verringert.

Um zu vermeiden, daß das Harz im Bereich der Werkstückkante 134 diese umfließen kann, ist eine sorgfältige Abdichtung 156 von entsprechenden Kantenenden vorgesehen.

Für die Infiltrierung des Faserhalbzeugs werden erfindungsgemäß heißhärtende Harzsysteme eingesetzt, bei denen die zur Härtung notwendige Temperatur höher und insbesondere deutlich höher als Raumtemperatur ist (Hochtemperaturharze). Insbesondere können auch Polyadditionsharze zum Einsatz kommen wie Epoxidharze und Bismaleinharze.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren läßt sich das Harzsystem Hexcel RTM6 einsetzen, welches eine Einsatztemperatur in der Größenordnung von bis zu ca. 180°C aufweist. Das Harzsystem Hexcel RTM6 ist für die Luftfahrt zugelassen.

Weitere Beispiele für einsetzbare Harzsysteme sind PR500 (3M) oder ST1151 (SEP).

In Figur 9 ist der Verlauf der Siedepunktkurve 158 von RTM6 gezeigt. Oberhalb dieser Kurve liegt das Harz im flüssigen Aggregatzustand vor, unterhalb ist es gasförmig. Beim Überschreiten der Siedepunktkurve 158 entstehen Gasbläschen im

Harz, die bei der Herstellung eines Bauteils unerwünscht sind.

Bei Temperaturen ab ca. 140°C steigt die Siedepunktkurve steil an, d. h. um bei einer Temperaturerhöhung des Harz flüssig zu halten, ist eine Druckerhöhung nötig (Verringerung der Unterdruckbeaufschlagung), wenn beispielsweise der Unterdruck in dem Vakuumraum 78 bzw. 128 beispielsweise 150 hPa beträgt.

In Figur 10 ist die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Hexcel RTM6 gezeigt, wobei auf der Ordinate die dynamische Viskosität in einer logarithmischen Skala aufgetragen ist. Man sieht, daß mit zunehmender Temperatur die Viskosität stark abnimmt. Ein sinnvoller Arbeitsbereich für die Infiltration von Faserhalbzeugen liegt bei Viskositäten im Bereich zwischen 1000 mPas und 100 mPas, d. h. bei Temperaturen zwischen ca. 90°C und ca. 120°C.

In Figur 11 ist die Temperaturabhängigkeit der Verarbeitungszeit  $t^*$  von Hexcel RTM6 gezeigt. Es besteht die Möglichkeit, RTM vorzualtern, indem es beispielsweise bei einer Temperatur von 120°C ca. 2 Stunden vorreagiert wird, bevor eine Infiltration des Faserhalbzeugs erfolgt. Dadurch läßt sich ein Viskositätsanstieg durch das Vorreagieren bewirken, wobei andererseits die Verarbeitungszeit verringert wird. Durch Vorreaktion des Harzes läßt sich also eine kürzere Gelierzeit einstellen und sich entsprechend die Verarbeitungszeit einstellen.

In Figur 11 ist die Verarbeitungszeit für vorreagiertes Harz gezeigt, welches bei einer Temperatur von ca. 110°C eine Viskosität von ungefähr 200 mPas aufweist anstatt von ca. 90 mPas bei nicht vorreagiertem Harz.

Das erfindungsgemäße Verfahren funktioniert nun wie folgt:

Beispielsweise zur Herstellung eines Composite-Teils wird eine Form 112 verwendet. In die Form wird Faserhalbzeug 118 in entsprechender Ausgestaltung positioniert, wobei zwischen der Form und dem Faserhalbzeug vorzugsweise eine Trennfolie angeordnet wird. Es werden dann oberhalb des Faserhalbzeugs ein Peel-Ply 52 positioniert, eine Trennfolie 50 sowie ein Verteilergewebe 44. An Werkstückkanten 134 wird dabei das Verteilergewebe so geschnitten, wie es im Zusammenhang mit den Figuren 7 und 8 erläutert wurde. Weiterhin wird das Verteilergewebe am Werkstückrand 42 so positioniert, wie im Zusammenhang mit Figur 4 beschrieben bzw. es wird eine Folie 110 vorgesehen, wie im Zusammenhang mit Figur 5 beschrieben.

Es wird dann weiterhin die Vakuumfolie 38 angeordnet und eine Abdichtung durchgeführt, um entsprechend einen Vakuumraum 128 zu erzeugen. Die Unterdruckbeaufschlagung des Vakuumraums 128 erfolgt durch eine oder mehrere Vakuumpumpen 24, welche über Vakuumports 46a, 46b, 48a, 48b bzw. 30 auf den Vakuumraum 128 wirken.

Weiterhin werden Stoppbereiche 54 bzw. Harzbremsen 130 ausgebildet, um ein Auslaufen von dünnflüssigem Harz aus infiltriertem Faserhalbzeug 12 bzw. 118 weitgehend zu verhindern.



Vor und während der Harzinfiltration ist der Drucksensor 60, welcher über das Verteilergewebe 44 Druck aufnimmt, von diesem entkoppelt, indem die Schlauchklemme 66 auf den Schlauch 64 wirkt.

An der Vakuumpumpe 24 ist eine bestimmte Leistung eingestellt, welche zu einer bestimmten Unterdruckbeaufschlagung führt, die entsprechend gesteuert eingestellt ist. Insbesondere erfolgt diese gesteuerte Einstellung über die Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 20.

Die Form 112 wird auf einer bestimmten Temperatur gehalten. Das Harz in dem Vorratsbehälter 70 bzw. 132 wird ebenfalls auf einer bestimmten Temperatur gehalten, um eine Zuführbarkeit (Fließfähigkeit) zum Halbzeug sicherzustellen. Übliche Temperaturen für Hexcel RTM6 sind 90°C bis 120°C. Die Temperatur bei der Harzinjektion wird dabei über die Temperatursensoren 16 überwacht und/oder über Temperatursensoren, welche an dem Verteilergewebe angeordnet sind.

Die Harzinfiltration wird durch die Steuerungs- und Regelungsvorrichtung 20 überwacht.

Die Harzzuführung über die Zuführungsleitung 76 ist gesteuert.

Beispielsweise wird nun das Harz bei einer Temperatur von 100°C dem Faserhalbzeug 12 zugeführt, wobei durch den Unterdruck im Vakuumraum 78 dieses in das Faserhalbzeug injiziert wird. In Figur 12 ist schematisch ein Temperaturverlauf 160

bei der Herstellung des Bauteils gezeigt. Bei einer Injektionsphase 162 ist für ca. 2 Stunden und 10 Minuten die Temperatur eben im wesentlichen auf 100°C konstantgehalten, oder bei einer alternativen Variante bei 120°C konstantgehalten. Der über die Pumpleistung der Vakuumpumpe 24 eingestellte Unterdruck liegt dabei so, daß die Siedepunktkurve 158 des Harzsystems nicht überschritten wird, d. h. daß sich keine Gasblasen bilden können, die sonst nicht mehr aus dem Werkstück entfernt werden könnten. Schematisch ist dazu für ein Ausführungsbeispiel ein Druckverlauf 164 gezeigt. Der erforderliche Unterdruck 166 ist über die Steuerungs- und Regelungseinrichtung 20 mittels der Pumpleistung eingestellt.

Die Injektionsphase 162 wird dadurch beendet, daß die Temperatur erhöht wird (Bezugszeichen 168 in Figur 12). Die Steuerungs- und Regelungseinrichtung verringert gleichzeitig die Unterdruckbeaufschlagung (erhöht den Druck), wie es in Figur 12 durch das Bezugszeichen 170 angedeutet ist. Dadurch wird vermieden, daß die Siedepunktkurve 158 überschritten wird, da eben die Siedepunktkurve mit Temperaturerhöhung monoton zunimmt.

Weiterhin wird durch die Druckerhöhung ein Ausgasen des Harzes verringert. Darüber hinaus wird dadurch die Gefahr des Aussaugens von Harz aus dem mit Harz getränkten Faserhalbzeug 12 verringert.

Die Temperatur von beispielsweise 120°C während einer solchen Härtingsphase 172, welche sich an die Injektionsphase 162 anschließt, wird dann über einen bestimmten Zeitraum von beispielsweise 2 Stunden aufrechterhalten und ebenso wird eine

im wesentlichen konstante Unterdruckbeaufschlagung aufrecht-  
erhalten.

Es wird dann durch eine weitere Temperaturerhöhung beispiels-  
weise auf 120°C eine weitere Härtingsphase 174 eingeleitet,  
in welcher die endgültige Aushärtung erfolgt. In dieser  
Härtingsphase 174 ist das Harz schon ausgehärtet, daß die  
Gefahr der Siedebblasenbildung und die Gefahr der Harzaus-  
saugung nicht mehr besteht. Der Zeitraum für die endgültige  
Aushärtung kann beispielsweise 2 Stunden betragen.

Während der Injektionsphase 162 erfolgt die Harzzuführung zu  
dem Faserhalbzeug 12 im wesentlichen mittels des Verteiler-  
gewebes 44, welches als Fließhilfe dient. In dem Verteiler-  
gewebe sind Fließkanäle gebildet, wobei der Harzfluß aufgrund  
des Druckgefälles erfolgt.

Der Vakuumport 30 (bzw. 48a, 48b) ist so weit weg von dem  
Faserhalbzeug 12 und einem Bauteilrand 42 positioniert, daß  
er durch das Harz erst erreicht wird, wenn das Faserhalbzeug  
12 vollständig mit Harz getränkt ist, d. h. eine Harzfront  
dieses vollständig durchlaufen hat. Es kann weiterhin ein  
Unterdruck in dem Vakuumraum 78 angelegt werden, um eine  
vollständige Harzinfiltration zu erreichen. Der Aufnahme-  
raum 36 kann dabei entsprechend seinem Volumen Harz aufnehmen,  
ohne daß dieses in das Vakuumsystem (Saugleitung 28, Vakuum-  
pumpe 24) eingesaugt wird.

Eine weitere Harzfalle kann mittels des Vorratsbehälters 70  
bzw. 132 gebildet werden: Wird nach Infiltration des Faser-  
halbzeugs 12 der Vorratsbehälter 70 mit einem Deckel ver-  
schlossen, dann läßt sich so ein Absaugbehälter schaffen. Es

wird dann der Unterdruck gleichmäßig über einen Angußkanal, welcher mit der Zuführungsleitung 76 verbunden ist, und das Verteilergewebe 44 über das gesamte Werkstück verteilt. Ist der Unterdruck entsprechend so eingestellt, daß der Harzspiegel in der Zuführungsleitung 76, welche ein Steigleitungsteil umfaßt, bis kurz unter den Vorratsbehälter 70 als Absaugebehälter ansteigen kann, dann kann bei entsprechender Wahl des Innendurchmessers der Zuführungsleitung 76 verhindert werden, daß Harz in den Absaugebehälter 70 gedrückt wird und es ist sichergestellt, daß nur Luft- und Gasblasen aufsteigen können.

Mittels der Heizung 72 läßt es sich auch einrichten, daß nach der Infiltration der Absaugebehälter 70 eine niedrigere Temperatur als die Form 12 aufweist, so daß das Harz im Absaugebehälter zuletzt geliert.

Bei Beendigung der Infiltrationsphase (Injektionsphase) 162 wird die Schlauchklemme 66 gelöst; die dabei im Schlauch 64 verbliebene Luft wird über das Verteilergewebe 44 aufgrund des Unterdrucks im Vakuumraum 78 abgesaugt, bis ein Druckausgleich erfolgt. Der Drucksensor 60 kann dann den entsprechenden anstehenden Druck im Vakuumraum 78 und damit im Werkstück ermitteln, um so bei einer Temperaturerhöhung und/oder Druckerhöhung die Siedebblasenbildung zu verhindern, indem eben dann der Druck entsprechend gesteuert bzw. geregelt wird, um die Siedepunktkurve nicht zu überschreiten.

Erfindungsgemäß lassen sich damit neben Kleinbauteilen auch große Bauteile im Vakuumdruck herstellen, ohne daß ein Autoklav vorgesehen werden muß, wobei sehr gute Bauteilqualitäten

!

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem faserverstärkten Werkstoff, bei welchem einem Faserhalbzeug mittels Unterdruckbeaufschlagung flüssiges Harz zugeführt wird,  
dadurch gekennzeichnet, daß als Harz ein heißhärtendes Harz verwendet wird und daß Unterdruckbeaufschlagung und Temperatur so gesteuert und/oder geregelt werden, daß bezogen auf das flüssige Harz die Siedepunktkurve des Harzes nicht überschritten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterdruckbeaufschlagung während der Harz-Infiltration über eine Vakuumpumpe gesteuert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verteilergewebe, welches der Zuführung von Harz zum Faserhalbzeug dient, mit Unterdruck beaufschlagt wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck nach der Harz-Infiltration an einem Verteilergewebe gemessen wird, welches der Zuführung von Harz zum Faserhalbzeug dient.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Drucksensoren nach der Harz-Infiltration des Werkstücks in eine Wirkverbindung mit dem Verteilergewebe gebracht werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß vor und während der Harz-Infiltration des Werkstücks die Wirkverbindung unterbrochen ist.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Faserhalbzeug bei der Harz-Infiltration in eine Form eingelegt ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Formtemperatur gesteuert und/oder geregelt wird.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Temperatursensoren an einer Vakuumfolie angeordnet werden.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur hinsichtlich der Temperaturabhängigkeit der Viskosität des Harzes eingestellt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Injektionsphase eine Harz-Infiltration bei einer bestimmten Temperatur oder in einem bestimmten Temperaturbereich erfolgt, bei dem das Harz eine solche Viskosität aufweist, daß eine im wesentlichen gleichmäßige Harzfront ausbildbar ist.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur so eingestellt wird, daß die Viskosität des Harzes im Bereich zwischen 10 mPas und 1000 mPas liegt.
13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Härtingsphase, welche sich an eine Injektionsphase anschließt, eine Verringerung der Unterdruckbeaufschlagung erfolgt.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß in der Härtingsphase, welche sich an die Injektionsphase anschließt, eine Temperaturerhöhung erfolgt.
15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Härtingsphase, in welcher das Harz vollständig aushärtet, die Temperatur erhöht wird.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur gegenüber einer Injektionsphase erhöht wird.
17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur gegenüber einer Härtingsphase, welche sich an eine Injektionsphase anschließt, erhöht wird.



18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur so eingestellt wird, daß ein bestimmter Verarbeitungszeitraum oder ein bestimmter Verarbeitungszeitraumbereich für das Harz vorgegeben wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur so eingestellt wird, daß die Verarbeitungszeit des Harzes an eine Werkstückgröße angepaßt ist.
20. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Prozeßüberwachung bezüglich Harz-Infiltration und Harz-Aushärtung durchgeführt wird.
21. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Harz vor der Infiltration zur Viskositätserhöhung vorgealtert wird.
22. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Harzfalle vorgesehen wird, mittels welcher nach der Harz-Infiltration eine gleichmäßige Unterdruckbeaufschlagung ermöglicht wird und die eine Harzabsaugung während einer Härtingsphase des Harzes im wesentlichen verhindert.
23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Harzfalle eine Absaugeführung umfaßt, welche einen derart großen Innendurchmesser aufweist, daß Luft- und

Gasblasen aufsteigen können, ohne daß Harz in einen Absaugeraum gedrückt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Absaugeraum in einem Vorratsbehälter für Harz zur Harzinjektion gebildet ist.
25. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verteilergewebe, welches als Fließhilfe für die Harzzuführung zum Faserhalbzeug dient, ab einem bestimmten Abstand zu einem Werkstückrand nicht mehr wirksam ist.
26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand im Bereich zwischen 10 mm bis 50 mm liegt.
27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Verteilergewebe vor dem bestimmten Abstand endet.
28. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß eine Abdeckfolie zwischen Werkstück und Verteilerfolie zur Begrenzung der Wirksamkeit des Verteilergewebes vorgesehen wird.
29. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verteilergewebe, welches als Fließhilfe bei der Harzzuführung dient, bezüglich einer Werkstückkante zur Steuerung des Flußfrontwinkelverlaufs des Harzes geschnitten wird.

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß ein Kantenende abgedichtet wird.
31. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Vakuumports vorgesehen werden, über welchen oder welche das Werkstück mit Unterdruck beaufschlagt wird und der oder die mit einer oder mehreren Vakuumpumpen verbunden ist oder sind.
32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß ein Vakuumport in einem Bereich angeordnet ist, welcher von einer Fließfront des injizierten Harzes zuletzt erreicht wird.
33. Verfahren nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, daß ein Vakuumport als Harzfalle ausgebildet ist, welche eine bestimmte Harzmenge aufnehmen kann, um das Eindringen von Harz in ein Vakuumsystem zu verhindern.
34. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumport über ein Verteilergewebe an eine Faserhalbzeug-Unterseite angeschlossen wird.
35. Verfahren nach einem der Ansprüche 31 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anschluß des Vakuumports an eine Vakuumfolie abgedichtet wird.

36. Verfahren nach Anspruch 34 oder 35, dadurch gekennzeichnet, daß das Verteilergewebe gegenüber einem Werkstückrand abgedichtet wird.
37. Verfahren nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Verteilergewebe und Dichtung eine Folie angeordnet ist.
38. Verfahren nach einem der Ansprüche 31 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumport gegenüber dem Werkstück abgedichtet wird.
39. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Werkstückrand eine Harzbremse angeordnet wird.
40. Verfahren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß ein erster Anschluß zur Unterdruckbeaufschlagung bezogen auf das Faserhalbzeug vor einer Harzbremse angeordnet wird und ein zweiter Anschluß hinter einer Harzbremse angeordnet wird.
41. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Prozeßüberwachung mittels Ultraschallbeaufschlagung des Werkstücks durchgeführt wird.
42. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als heißhärtendes Harz ein Polyadditionsharz eingesetzt wird.

43. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Harzzuführungsgeschwindigkeit von Harz aus einem Harzvorrat zu dem Faserhalbzeug steuerbar ist.
44. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, welche mindestens einen Vakuumport (30; 46a, 46b, 48a, 48b) zur Unterdruckbeaufschlagung eines Werkstücks umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumport als Harzfalle ausgebildet ist, welche eine bestimmte Menge an Harz aufnehmen kann, um das Eindringen von Harz in ein Vakuumsystem (24, 28), welches mit dem Vakuumport verbunden ist, zu verhindern.
45. Vorrichtung nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumport (30) mit einer Vakuumpumpe (24) verbunden ist.
46. Vorrichtung nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß eine Wirkverbindung des Vakuumports (30) mit der Vakuumpumpe (24) steuerbar unterbrechbar ist.
47. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumport (30) auf einem Verteilergewebe (44; 84) positionierbar ist, mittels welchem dem Faserhalbzeug (12) Harz zuführbar ist.
48. Vorrichtung nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß das Verteilergewebe (84), auf welchem der Vakuumport

(30) positioniert ist, bezogen auf eine Zuführungsrichtung des Harzes unterhalb des Faserhalbzeugs (12) angeordnet ist.

49. Vorrichtung nach Anspruch 47 oder 48, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumport (30) einen Auflageflansch (32) zur Positionierung auf dem Verteilergewebe (44) aufweist.
50. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 49, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumport (30) einen Aufnahme-  
raum (36) für Harz umfaßt.
51. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 50, dadurch gekennzeichnet, daß der Vakuumport (30) an oder in einem Abstand zu einem Rand (42) eines Werkstücks positionierbar ist, welcher durch eine Fließfront des injizierten Harzes zuletzt erreicht wird.
52. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 51, dadurch gekennzeichnet, daß ein Vorratsbehälter (70) für die Harzzuführung als Harzfalle einsetzbar ist.
53. Anordnung zur Herstellung eines Bauteils aus einem faserverstärkten Werkstoff mittels Harzimprägnierung eines Faserhalbzeugs (12), umfassend

- eine Form (10);

- dadurch gekennzeichnet, daß Unterdruckbeaufschlagung und Temperatur bei der Harzimprägnierung so steuerbar und/oder regelbar sind, daß bezogen auf das flüssige Harz die Siedepunktkurve nicht überschritten wird.

54. Anordnung nach Anspruch 53, dadurch gekennzeichnet, daß das Harz ein heißhärtendes Harz ist.
55. Anordnung nach Anspruch 53 oder 54, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verteilergewebe (44) zwischen Faserhalbzeug (12) und Vakuumfolie (38) als Fließhilfe für das Harz angeordnet ist.

Um ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem faserverstärkten Werkstoff zu schaffen, bei welchem einem Faserhalbzeug mittels Unterdruckbeaufschlagung flüssiges Harz zugeführt wird, ist vorgesehen daß als Harz ein heißhärtendes Harz verwendet wird und daß Unterdruckbeaufschlagung und Temperatur so gesteuert und/oder geregelt werden, daß bezogen auf das flüssige Harz die Siedepunktkurve des Harzes nicht überschritten wird.